

Acoustic apparatus.

Patent Number: EP0322686
Publication date: 1989-07-05
Inventor(s): YOKOYAMA KENJI
Applicant(s):: YAMAHA CORP (JP)
Requested Patent: JP1302997
Application Number: EP19880121164 19881216
Priority Number(s): JP19870334262 19871228
IPC Classification: H04R1/28 ; H04R3/00

Abstract

An acoustic apparatus comprising a resonator having a resonance radiation unit for radiating an acoustic wave by resonance, a vibrator arranged in the resonator, and a vibrator drive means for driving the vibrator. The vibrator has a diaphragm having a direct radiator portion for directly radiating an acoustic wave, and a resonator driver portion for driving the resonator. The vibrator drive means has a drive control means for controlling the drive condition so as to equivalently reduce or invalidate the internal impedance inherent to the vibrator.

Data supplied from the esp@cenet database - l2

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平1-302997

⑬ Int. Cl.⁴

H 04 R 1/28
13/00
17/00
18/00

職別記号

310

庁内整理番号

Z-7314-5D
6911-5D
M-7923-5D
6911-5D

⑭ 公開 平成1年(1989)12月6日

審査請求 未請求 発明の数 1 (全25頁)

⑮ 発明の名称 音響装置

⑯ 特 願 昭62-334262

⑰ 出 願 昭62(1987)12月28日

⑱ 発 明 者 横 山 健 司 静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内

⑲ 出 願 人 ヤマハ株式会社 静岡県浜松市中沢町10番1号

⑳ 代 理 人 弁理士 長谷川 芳樹 外3名

明 細 書

1. 発明の名称

音響装置

2. 特許請求の範囲

1. 共鳴による音響を放射するための共鳴放射部を有する共鳴器と、

音響を直接に放射するための直接放射部と、前記共鳴器を駆動するための共鳴器駆動部とを含んで構成される振動体を有し、前記共鳴器に配設される振動器と、

この振動器に固有の内部インピーダンスを等価的に低減あるいは無効化するように駆動状態を制御する駆動制御手段を有し、前記振動器を駆動する振動器駆動手段と、

を備えることを特徴とする音響装置。

2. 前記共鳴器は、前記振動器が配設される第1開口部と、前記共鳴放射部をなす第2開口部とを有するキャビネットで構成され、

前記振動器の振動体は、前記キャビネットの外側部分で前記直接放射部を構成し、前記キャビネットの内側部分で前記共鳴器駆動部を構成することを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の音響装置。

3. 前記共鳴器の共振周波数が、前記振動器を前記共鳴器に単に配設した状態での当該振動器の共振周波数と異なっていることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の音響装置。

4. 前記共鳴器の共振周波数が、前記振動器を前記共鳴器に単に配設した状態での当該振動器の共振周波数に比べて低いことを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の音響装置。

5. 前記共鳴器は前記第2開口部を開口ポートとするヘルムホルツ共鳴器であることを特徴とする特許請求の範囲第2項記載の音響装置。

6. 前記開口ポートは筒状のネックを有することを特徴とする特許請求の範囲第5項記載の音響装置。

7. 前記振動器は動電形電気音響変換器であ

ることを特徴とする特許請求の範囲第 1 項記載の音響装置。

8. 前記振動器は電磁形電気音響変換器であることを特徴とする特許請求の範囲第 1 項記載の音響装置。

9. 前記振動器は静電形電気音響変換器であることを特徴とする特許請求の範囲第 1 項記載の音響装置。

10. 前記振動器は圧電形電気音響変換器であることを特徴とする特許請求の範囲第 1 項記載の音響装置。

11. 前記駆動制御手段が、前記振動器駆動手段の出力インピーダンス中に等価的に負性インピーダンス成分を発生する負性インピーダンス発生手段であることを特徴とする特許請求の範囲第 1 項記載の音響装置。

12. 前記負性インピーダンス発生手段が、前記振動器の駆動電流に対応する信号を前記振動器駆動手段の入力側に正帰還して等価的に負性インピーダンス成分を発生するように構成されている

ことを特徴とする特許請求の範囲第 1 項記載の音響装置。

13. 前記負性インピーダンス発生手段が、出力インピーダンス中に等価的に負性抵抗成分を発生するように構成されていることを特徴とする特許請求の範囲第 1 項記載の音響装置。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

この発明は、共振器を含んで構成される音響装置に関する。

〔従来の技術〕

音響装置の一種としてのスピーカシステムは、一般にキャビネットにスピーカユニット（振動器）を配置し、これを増幅器（AMP）で駆動するように構成される。そして、再生特性のうちの特に低音域再生特性は、主としてキャビネットの容積により決定されている。

直接放射スピーカの代表例としての動電形直接放射スピーカ（ダイナミック・コーン・スピーカ）

- 3 -

は、略円錐形状（コーン状）の振動板を有し、この振動板は円錐の頂部近傍に取り付けた磁気ギャップ中のボイスコイルで駆動される。このようなスピーカを音響装置に用いたときには、振動板の前面から直接音が放射されるが、後面からも音が放射される。ところで、この前後の両面からの音波は互いに逆位相であり、従ってこの前後の両面から聴取者までの音波の行程差が半波長の奇数倍近傍であるときは、双方からの音圧は同位相になって互いに重畳される。

しかしながら、この行程差が半波長の偶数倍近傍であるときには、音圧が相殺されて弱め合うので、スピーカからは各種の波長の音が放射されることを考慮すると、後面からの音は聴取者に届かないようにするか、あるいは後面からの音が前面からの直接放射音に悪影響を与えないようにするかが望ましい。

そこで、直接放射スピーカではバフルと呼ばれるものが用いられる。振動板の前後の音の流通を遮ぎるものとしては、第 29 図に示すような平面

- 4 -

バフル、後面開放箱形バフルおよび密閉形バフルなどが知られ、これらとはやや趣旨を異にするものとして、第 31 図に示す位相反転形バフル（パスレフ形）が知られている。以下、これらを順次に説明する。

第 29 図（a）は平面バフルの断面図である。図示のように、1 枚の広い平板 1 には振動器と同じ大きさの穴が明けられ、ここに略円錐形状の振動板 2 が取り付けられる。そして、この振動板 2 の円錐頂部には、ボイスコイル、磁気回路などを含んだ動電形電気音響変換器（スピーカ）3 が取り付けられる。この平面バフルによれば、後面からの音は平板 1 によって遮ぎられるので、仮に平板 1 を無限の広さにすれば、バフル効果は完全となる。しかし、これは非現実的であり、実際には有限の大きさの平板 1 が用いられる。ところが、例えば音圧再生特性の最低周波数を 60 ヘルツ程度に設定すると、平板 1 の大きさは一辺が 2 m 程度にもなり、実用的ではない。

第 29 図（b）は後面開放箱形バフルの断面図

- 5 -

- 6 -

である。図示のように、後方が開放された箱体4の前面には穴が明けられ、ここに振動板2および動電形スピーカ3で構成される振動器が取り付けられる。しかし、この後面開放箱形バフルによっても、必要な程度のバフル効果を得るためには寸法が大きくなってしまい、また箱体4の空気柱が共振系を構成して過渡特性を悪くする。

第29図(c)は密閉形バフルの断面図である。図示のように、密閉された箱体5の前面には穴が明けられ、ここに振動板2および動電形スピーカ3で構成される振動器が取り付けられる。この構造では、箱体5が全く振動しないようにすれば、振動板2の後面からの音は完全に閉じ込められるので、完全なバフル効果が得られる。しかしながら、箱体5内の空気が空気バネとなって振動板2に弾性を与え、全体としての共振周波数は平面バフルに比べて高くなってしまふ。

これを第30図により説明する。同図は第29図(c)のシステムの簡素化された電気的等価回路図である。そして、図中の R_v は振動器のボイ

スコイル直流抵抗であり、また、 m_0 、 S_0 および S_c は

m_0 → 振動系の等価質量

S_0 → 振動系の等価ステイフネス

S_c → 箱体の等価ステイフネス

にそれぞれ対応する関係にある。また、 A は力係数であって、 B を磁気回路の磁気ギャップ中の磁束密度とし、 l をボイスコイルの長さとしたときに、 $A = B \cdot l$ として求められる。そして、ユニット振動系の等価モーシヨナルインピーダンスによる並列共振回路 Z_1 と、密閉箱の等価モーシヨナルインピーダンス A^2 / S_c は互いに並列接続され、これらは非モーシヨナルインピーダンスであるボイスコイル抵抗 R_v を介してアンプ(図示せず)に並列接続される関係にある。

この電気的等価回路から明らかなように、システム全体としての共振周波数 f_{oc} は振動器の最低共振周波数より上昇し、

$$f_{oc} = f_0 \cdot (1 + S_c / S_0)$$

となり、共振周波数 f_{oc} における等価的な Q 値

— 7 —

(Q_{oc})は、振動器の最低共振周波数 f_0 における Q 値(Q_0)に対して、

$$Q_{oc} = Q_0 \cdot (1 + S_c / S_0)$$

となって上昇する。従って、低域再生特性を向上させるときには、箱体の等価ステイフネスをより小さくしなければならず、このためキャビネットは大形にならざるをえない。

バスレフ形スピーカシステムはこれらとやや趣旨を異にするもので、その斜視図および断面図を第31図に示す。図示のように、箱体6には穴が明けられて振動板2および動電形スピーカ3からなる振動器が取り付けられ、また、その下方には音道7を有する開口ポート8が設けられている。ここで、通常の基本設定に従ったバスレフ形スピーカシステムにおいては、箱体6内部の空気バネと音道7の空気質量による共振周波数(共鳴周波数) f_{op} を、振動器をバスレフ形箱体に組み込んだ状態での振動器(スピーカ)の最低共振周波数 f_0 よりも、低く設定してある。そして、上記の空気バネと空気質量による共振周波数よりも高い

— 8 —

周波数では、振動板2の後面からの音圧が音道7のところで逆位相となり、従って箱体6の前方では、振動板2の前面からの直接放射音と開口ポート8からの音が結果的に同位相になり、音圧が強められる。その結果、最適設計されたバスレフ形スピーカシステムによれば、出力音圧の周波数特性を振動器の前記低域共振周波数以下まで伸ばすことができ、第32図に2点鎖線で示すように、一樣再生範囲を無限平面バフルや密閉形バフルよりも広げることができる。

しかしながら、このバスレフ形スピーカシステムで一樣再生を実現しようとする、ユニット振動系の共振の Q 値などについて各種の制約があり、これらが満たされたときに始めて第32図の特性が得られていた。このように、一般的にバスレフ形スピーカシステムでは、最適設計の条件を得るのが極めて難しかった。

一方、バスレフ形スピーカシステムの基本設計思想にこだわらず、開口ポートからの音響放射能力のみに着目し、意図的に共振器側の共振周波数

— 9 —

— 10 —

f_{op} を極度に低くする試みもなされることがある。

ところが、低音再生能力にはキャビネットの容積が密接に関係してくるため、程度の違いこそあれ、やはり密閉形バフルの場合とほぼ同じく、より低域の再生を実現するためには、より大形のキャビネット(箱体)とせざるを得なかったのである。この事情を第33図によりもう少し詳しく説明する。

まず、第31図のバスレフ形スピーカシステムを、簡素化された電気的等価回路で示すと、第33図のようになる。同図において、 A 、 R_v 、 m_o 、 S_o 、 m_p および S_c は第30図に示したのと同様であり、 m_p は音道(ポート)の等価質量に対応する関係にある。そして、ユニット振動系の等価モーショナリンピーダンスによる並列共振回路 Z_1 と、ポート共振系の等価モーショナリンピーダンスによる直列共振回路 Z_2 は互いに並列接続され、これらは非モーショナリンピーダンスであるボイスコイル直流抵抗 R_v を介して駆動用のアンプ(図示せず)に並列接続される

— 11 —

なことがあげられるし、逆に軟弱な磁気回路を有する振動器を用いたときには、全く逆の変化を生じることがあげられる。バスレフ形スピーカシステムの本来の設計では、このような相反する相互依存条件の下で、一様な低域再生特性の得られる最適点を選択しなければならなかった。

ここで、キャビネットを小容積化することを考えると、ユニット振動系の最低共振周波数 f_o についてはいずれも密閉形バフルの場合と同じ傾向を示し、結果として最低共振周波数 f_o が高くなる。最終的には、開口ポートの音響放射効果によって再びある程度の低音域再生特性の改善がなされるわけではあるが、システム全体として考えれば、バスレフ形スピーカシステムであってもキャビネットを小さくすれば、それだけ低音域再生能力が低下することは避けられない。

特に、前述のように基本設定から意図的にポート共振系の共振周波数 f_{op} を低下させた時には、キャビネットを小形化することと相まって開口ポートを細長くする必要があり、従ってポートでの

関係にある。

この電気的等価回路から明らかなように、バスレフ形スピーカシステムでは、その大きな特徴として共振系が2つ存在する。これはインピーダンス特性でみれば双峰特性を呈しており、かつ共振点は2つの山の頂点およびその間の谷の計3つであり、この谷の共振がポート共振系に該当する(前述した密閉形では共振系は唯一つであり、インピーダンス特性は単峰特性を呈し共振点も1つであった)。そして、このバスレフ形スピーカシステムでは、振動器(ユニット)のボイスコイル抵抗 R_v は振動器側の並列共振回路 Z_1 の制動抵抗と、開口ポート(ダクト)側の直列共振回路 Z_2 の制動抵抗を兼ねている。このため、並列共振回路 Z_1 と直列共振回路 Z_2 とは、相互に干渉し合う存在となっていた。

相互干渉または相互依存性の一例としては、例えば振動器として強力な磁気回路を有するものを用いると、振動器としての共振のQ値は小さくなるのに対し、開口ポート側の共振のQ値は大きく

— 12 —

空気の機械抵抗の上昇によりQ値は極めて小さくなる。共振のQ値が極めて小さくなるということは、開口ポートからの音響放射能力が失われることを意味しているから、結果的には開口ポートを共振ダクトとして設けた意義は失われ、開口ポートの存在自体が無意味なものになってしまう。すなわち、小形化すれば低音再生は実質的に不可能となってくるのである。

(発明が解決しようとする問題点)

以上、概略的に説明したように、従来の音響装置では、低音再生を可能にするために、種々の工夫がなされている。

第29図に示す平面バフル、後方開放箱形バフルおよび密閉形バフルでは、振動板の後面からの放射音は全て邪魔な音として、前方の聴取者には届かないように設計している。しかしながら、これらによって低音再生特性を向上させようとする、設置(キャビネット)が大形化することは避けられず、また大形化したときでも、その低音再生特性は十分なものではなかった。

— 13 —

— 14 —

第31図に示すバスレフ形スピーカシステムでは、後方音の位相を開口ポートで反転させることで、振動板の前面からの直接放射音を、特に低音域で補償するように構成されている。このため、本来非常に扱いにくい存在である共振系が振動板および開口ポートの2箇所に生じてしまい、このバスレフ効果を基本設定に従って十分に得るためには、これら2つの共振系の相互依存条件を考慮しつつ、システムの最適条件を極めてクリティカルに設定しなければならず、従来から例えば特公昭46-12670号、実公昭54-35068号に示されるように種々の検討はなされているが、いずれによっても設計の困難性は本質的には解消できなかった。

また、最適設計がなされるか否かにかかわらず、低域再生特性を向上させるためには、やはりキャビネットが大形化してしまっていた。

また、バスレフ形スピーカシステムの基本設定からポート共振系の共振周波数 f_{op} を意図的に低くしたものもある。しかし、ここでもキャビネッ

トを小形化しようとする、ポート共振系が音響放射に寄与しなくなるという致命的な欠点があった。

従って、上記いずれの従来技術によっても、ある程度以上の低音再生能力を得ようとする、キャビネットが大形化することは避けられなかった。その結果、ホール、室内、自動車内など各種の用途においてキャビネットが適宜の容積で、しかも、低域再生特性の優れた音響装置を適用するのが困難であった。

この発明は、上記の問題点に鑑みてなされたもので、音響装置を構成するキャビネットなどの容積と低域再生特性を適宜かつ無関係に設定することができ、しかも、振動器と共鳴器の相互依存条件を排除あるいは低減させることができる音響装置を提供することを目的とする。

〔問題点を解決するための手段〕

この発明に係る音響装置は、共鳴による音響を放射するための共鳴放射部を有する共鳴器と、この共鳴器に配設される振動器と、この振動器を駆

- 15 -

動する振動器駆動手段とを備える。そして、この振動器は音響を直接に放射するための直接放射部と、共鳴器を駆動するための共鳴器駆動部とを含んで構成される振動体を有し、振動器駆動手段は振動器に固有の内部インピーダンスを等価的に低減あるいは無効化するように駆動状態を制御する駆動制御手段を有していることを特徴とする。

〔作用〕

上記の構成によれば、共鳴器は振動体の共鳴器駆動部によって駆動され、従って振動体の直接放射部からは音響が直接に放射され、かつ共鳴器の共鳴放射部からは共鳴による音響が放射される。

ここで、振動器は固有の内部インピーダンスを有しているが、これは振動器駆動手段における駆動制御手段の働きによって見掛け上で小さくされる（望ましくは無効化される）。

このため、振動器は電気的な駆動信号入力にのみ応答する要素となり、実質的に共振系ではなくなり、また同時に共鳴器の容積は振動器の低域再生能力を左右する要因ではなくなるので、キャビ

- 16 -

ネットを小形化したときにも、過渡応答による歪みなどを含まない低音再生を振動器側で実現できる。また、共鳴器の共鳴周波数近傍でのQ値は十分に大きな値とすることができるので、十分な音圧の重低音再生を実現できる。しかも、このQ値は共鳴放射部（開口ポート）の等価抵抗により設定でき、かつ共鳴周波数は共鳴放射部（ポート）の等価質量を調整することにより設定でき、共鳴器の容積の大小は低域再生能力を支配する要素でなくなる。

更に、機械的あるいは電気的等価回路において示されるように、振動器による振動系と共鳴器による共振系を、より独立して（望ましくは完全に独立して）取り扱うことが可能になるので、両者間の設計上の相互依存条件を少なくする（望ましくは相互依存条件をなくす）ことができ、かつこのようにしても何らの支障も生じないので、設計が極めて容易になる。

以上のことから、小形化と重低音再生を同時に実現することができ、しかも容易に設計すること

- 17 -

- 18 -

が可能となる。

〔実施例〕

以下、添付の第1図ないし第28図を参照して、この発明の実施例を説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

第1図は、この発明の一実施例の基本的構成を示している。同図(a)のように、この実施例では共鳴器として、共鳴放射部をなす開口ポート11およびネック12を有するヘルムホルツ共鳴器10を用いている。このヘルムホルツ共鳴器10においては、閉じられた空洞と、開口ポート11およびネック12による短い管とによって空気の共鳴現象が生じる。そして、この共鳴周波数 f_{op} は

$$f_{op} = c (S / l V)^{1/2} / 2\pi \quad \dots (1)$$

として求められる。ここで、

c : 音速

S : 開口ポート11の断面積

l : 開口ポート11のネック12の長さ

- 19 -

開口ポートの等価質量を示している。また、図中の A は力係数であり、例えば振動器が動電形直接放射スピーカであるときには、 B を磁気ギャップ中の磁束密度、 l をボイスコイル導体の長さとする、 $A = B l$ となる。さらに、図中の Z_v は変換器22の内部インピーダンスであり、例えば振動器が動電形直接放射スピーカであるときには、主としてボイスコイルの直流抵抗となり、わずかながらインダクタンスを含んでいる。

次に、第1図に示す構成の音響装置の作用を簡単に説明する。

負性インピーダンス駆動機能を有する振動器駆動装置30から、振動器20の変換器22に駆動信号が与えられると、変換器22はこれを電気機械変換し、振動板21を前後(図中の左右)に往復駆動しこれを機械音響変換する。ここで、振動器駆動装置30は負性インピーダンス駆動機能を有しているが故に、変換器22に固有の内部インピーダンスは実効的に減少化(理想的には無効化)されている。従って、変換器22は振動器駆動装

V : ヘルムホルツ共鳴器10の空洞の体積である。

この実施例の音響装置では、これに振動板21および変換器22からなる振動器20を取り付けている。そして、この変換器22は振動器駆動装置30に接続され、これは出力インピーダンス中に等価的に負性インピーダンス成分($-Z_0$)を発生させる負性インピーダンス発生部31を具備している。

この音響装置の電気的等価回路の構成は、第1図(b)のようになっている。ここで、並列共振回路 Z_1 は振動器20の等価モーショナルインピーダンスによるものであり、 r_0 は振動系の等価抵抗を示し、 S_0 は振動系の等価スチフネスを示し、 m_0 は振動系の等価質量を示している。また、直列共振回路 Z_2 は開口ポート11を含むヘルムホルツ共鳴器10の等価モーショナルインピーダンスによるものであり、 r_c は共振器の空洞の等価抵抗を示し、 S_c は空洞の等価スチフネスを示し、 r_g は開口ポートの等価抵抗を示し、 m_g は

- 20 -

図30からの駆動信号に忠実に応答して振動板21を駆動し、かつヘルムホルツ共鳴器10に対して独立に駆動エネルギーを与える。このとき、振動板21の前面側(図中の左面側)は音響を直接に外部に放射するための直接放射部をなしており、振動板21の後面側(図中の右面側)はヘルムホルツ共鳴器10を駆動するための共鳴器駆動部をなしている。

このため、図中に矢印 a で示すように振動板21から音響が直接放射されると共に、ヘルムホルツ共鳴器10中の空気が共鳴させられて、共鳴放射部から十分な音圧の重低音響が共鳴放射される。そして、ヘルムホルツ共鳴器10における開口ポート11およびネック12内の空気等価質量の調整により、この共鳴周波数 f_{op} を振動器20の再生周波数帯域より低く設定し、かつ、開口ポート11およびネック12の等価抵抗の調整によるQ値の適正レベルへの設定により、開口ポート11から適切なレベルの音圧が得られることを条件として、例えば第2図のような音圧の周波数特

- 21 -

- 22 -

性を得ることができる。

以下、この事情を第3図および第4図の等価回路で説明する。

第3図は第1図(b)をより簡素にした電氣的等価回路である。言い換えれば、共振器10の空洞の等価抵抗 r_0 と、開口ポート11およびネック12の等価抵抗 r_g は十分に小さく、従ってその逆数分は極めて大きいので、これらを無視した等価回路図である。第3図において、1は回路を流れる電流とし、 I_1 および I_2 はそれぞれ並列共振回路 Z_1 および直列共振回路 Z_2 を流れる電流であるとする、 $Z_3 = Z_v - Z_0$ としたときに、次の(2)~(4)式が成り立つ。

$$E_v = E_0 \cdot \{Z_1 \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_2)\} / [(Z_1 \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_2)) + Z_3] \quad \dots (2)$$

$$I_1 = E_0 \cdot \{Z_2 / (Z_1 + Z_2)\} / [(Z_1 \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_2)) + Z_3] \quad \dots (3)$$

$$I_2 = E_0 \cdot \{Z_1 / (Z_1 + Z_2)\} / [(Z_1 \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_2)) + Z_3] \quad \dots (4)$$

ここで、(3)、(4)式を簡単にするために、

— 23 —

となり、並列共振回路 Z_1 および直列共振回路 Z_2 はそれぞれ共に交流的にゼロインピーダンスで短絡され、かつ全く独立した共振系とみなすことができる。

第4図に、 $Z_0 = -Z_v$ としたとき、すなわち、 $Z_3 = Z_v - Z_0$ としたときの第3図の等価回路を示す。

まず、振動器20による共振系について、より厳密に考察してみると、等価モーショナリインピーダンスによる並列共振回路 Z_1 は、両端が交流的にゼロインピーダンスで短絡されている。従って、この並列共振回路 Z_1 は、実質的には、もはや共振回路ではなくなっている。すなわち、振動器20は駆動信号入力に対してリアルタイムで線形応答し、全く過渡応答することなく、電気信号(駆動信号)を忠実に音響変換することになる。また、この振動器20にあっては、単にヘルムホルツ共振器10に振動器20を取付けた状態で有していた最低共振周波数 f_0 という概念がもはやなくなっている。この振動器20の並列共振回路

— 25 —

$Z_4 = Z_1 \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_2)$ とすると、上記の(3)式は

$$I_1 = E_0 / (Z_1 (1 + Z_3 / Z_4)) \quad \dots (5)$$

となり、(4)式は

$$I_2 = E_0 / (Z_2 (1 + Z_3 / Z_4)) \quad \dots (6)$$

となる。

この(5)、(6)式より、次の2点が理解できる。第1は、 Z_3 の値がゼロに近づけば、それだけ振動器側の並列共振回路 Z_1 および共振器側の直列共振回路 Z_2 は、共に交流的には短絡された状態に近づくことである。第2は、並列共振回路 Z_1 と直列共振回路 Z_2 が、 $Z_3 = Z_v - Z_0$ を介して互いに影響を及ぼし合う関係にあり、この Z_3 の値がゼロに近づけば、それだけ並列共振回路 Z_1 と直列共振回路 Z_2 は独立性を強めることである。そして、理想的には、

$$Z_3 = Z_v - Z_0 = 0$$

と仮定すると、式(5)、(6)はそれぞれ

$$I_1 = E_0 / Z_1 \quad \dots (7)$$

$$I_2 = E_0 / Z_2 \quad \dots (8)$$

— 24 —

Z_1 は、その両端をゼロインピーダンスで交流的に短絡されているのであるから当然である。(以後、振動器20の最低共振周波数 f_0 相当値と言う場合には、実質的には無効化されてしまった上記概念を仮に呼ぶにすぎない。)さらに、振動器20とヘルムホルツ共振器10は互いに無関係であり、しかも、振動器20と開口ポート11も無関係であり、このためヘルムホルツ共振器10の容積の大小や開口ポート11の内径の大小やネック12の長さなどとは全く無関係に(ポート共振系の等価モーショナリインピーダンスとは全く無関係に)機能する。

また、並列共振回路 Z_1 と直列共振回路 Z_2 は、共振系として互いに無関係に独立して並存している。従って、システムを小形化するためにヘルムホルツ共振器10を小容積に設計したときにも、また後述のようにポート共振系のQ値を下げるために開口ポート11およびネック12を細長く設計したときにも、ユニット振動系の設計は何ら影響されず、その最低共振周波数 f_0 相当値なども

— 26 —

全く影響されない。このため、相互依存条件にとられない容易な設計が可能になる。

別の見方をすれば、このユニット振動系は実効的には共振系でなくなっている。駆動信号入力がゼロボルトならば、振動板 21 は実質的には共振器 10 の壁の一部になってしまう。その結果、ポート共振系を考える際には、振動板 21 の存在を無視することができる。

さらに別の見方をすれば、この発明の音響装置では、共振系はポート共振系のみとなり、従来の密閉形と同様の単峰特性を呈することになるといえる。

また、並列共振系において、

(負荷抵抗) / (共振インピーダンス)

として表される Q 値は、並列共振回路 Z_1 についてはゼロになる。

ユニット振動系で $Q=0$ になることについては、その他にもいくつかの意味がある。

第 1 は、等価的に並列共振回路 Z_1 をなす振動器 20 が、入力電圧 E_v と並列共振回路 Z_1 の抵

抗分 A^2 / r_0 で決定される $E_v / (A^2 / r_0)$ なる電流源で駆動されるスピーカになることである。電氣的にみて電流駆動領域にあるということとは、機械的には速度駆動領域にあるということであり、このスピーカの最低共振周波数 f_0 。相当値近傍の音波の周波数特性は、6 dB/oct となる。これに対して、通常の電圧駆動状態の特性は、12 dB/oct となる。

第 2 に、振動板 21 は完全な制動状態になることである。すなわち、振動板 21 を駆動したことによる反作用に対しては、駆動電流が増減することにより、この反作用に対抗すべく制御がなされる。従って、例えば振動板 21 に外力が加わった場合でも、その瞬間にこの外力と均衡する状態まで逆駆動力が働く（アクティブサーボ）。

次に、上記の第 4 図を参照して、ヘルムホルツ共振器 10、開口ポート 11 およびネック 12 による共振系について検討する。

同図に示すように、この直列共振回路 Z_2 についても、両端は交流的にゼロ Ω で短絡されている。

- 27 -

しかし、この場合は前述した並列共振回路 Z_1 の場合と異なり、共振系としての意味は何ら失われない。逆に、共振系としての Q 値が極めて大きく（理想状態に近ければ $Q \rightarrow \infty$ ）なるという効果が生じる。また、このヘルムホルツ共振器 10、開口ポート 11 およびネック 12 による仮想音源（スピーカ）の駆動は、実際には振動板 21 の変位（振動）によってなされるものではあるが、第 4 図の等価回路としては振動器 20 とは全く並列的に、駆動電圧 E_v から駆動エネルギーが供給されているものと考えられる。このため、共振周波数と共振 Q 値を共振器側で独自に設定することにより、小形でありながら十分な音圧の重低音再生が可能になる。

なお、このポート共振系の直列共振回路 Z_2 についても、ユニット振動系の並列共振回路 Z_1 とは全く独立して存在している。従って、振動器 20 の設計仕様によってヘルムホルツ共振器 10 や開口ポート 11 の設計仕様が影響されることはない。相互依存条件を排除した容易な設計が

- 28 -

可能になる。

この仮想スピーカ（ヘルムホルツ共振器 10 による音源）については、まず前述の (7)。

(8) 式より、変換器 22 に流れる電流 I は、

$$I = I_1 + I_2 \\ = (1/Z_1 + 1/Z_2) E_0 \quad \dots (9)$$

となる。また、(8) 式より、開口ポート 11 の共振周波数 f_{op} 付近（ポート共振系がヘルムホルツ共振をしている状態）においては、 $Z_2 \rightarrow 0$ になり（但し、実際には抵抗分によりダンピングされている）、従って微小な振幅の電圧によっても電流 I_2 は十分に流れる。

一方、振動板 21 の最低共振周波数 f_0 。相当値は開口ポート 11 の共振周波数 f_{op} より高いから、共振周波数 f_{op} 付近においては Z_1 の値は十分に大きくなっている。このため、(9) 式は

$$I = I_1 + I_2 \approx I_2$$

となり、変換器 22 に流れる電流の大部分は、ポート共振系（仮想スピーカ）の駆動のために寄与していることになる。また、ポート共振系は小振

- 29 -

- 30 -

幅電圧（大電流）で駆動されているため、これと並列な変換器 22 も小振幅電圧で駆動されることになり、従って振動板 21 は小振幅動作となっていることがわかる。ここにおいて、振動板 21 が小振幅動作であることから、ダイナミック・コーン・スピーカなどの大振幅動作にありがちな非線形な歪を、特に重低音域においてなくすることができる効果がある。

次に、直列共振回路 Z_2 の共振の Q 値については、前述したように並列共振回路 Z_1 とは異なり直列共振系であるため、第 4 図の等価回路では Q 値は無限大になる。この場合、第 1 図の等価回路に基づいて共振の Q 値を正確に算出すると

$$Q = (m_p S_c)^{1/2} / (r_c + r_g)$$

となるが通常 r_c 、 r_g は極めて小さく、これをゼロとみなせば、やはり同様の結果となる。従って、この Q 値を適当な値に設定することにより、十分な音圧をこの仮想スピーカで得ることができる。

このヘルムホルツ共振器 10 による Q 値につい

— 31 —

下げたとき、小形化すると共振系としての Q 値が極度に小さくなり、ついにはポートとしての音響放射能力が失われてしまっていたことと比較すると、極めて好対照といえる。

また、その他に、ヘルムホルツ共振器 10 内に吸音材などを入れることによって A^2 / r_c を小さくし、Q 値を所望に制御することもできる。そして、ここにおいて重要なことは、共振器（キャビネット）の小形化という条件の下で、上記のようにポート共振系の Q 値を制御しても、ユニット振動系には何ら影響が及ばないことである。

以上の説明から明らかなように、この発明によれば、第 2 図に示すような音圧の周波数特性を容易に、しかも小形化された装置（キャビネット）で実現することができる。ここで、並列共振回路 Z_1 で表現されるユニット振動系の最低共振周波数 f_0 。相当値付近では、その Q 値はゼロ近傍であって、ポート共振系の共振周波数 f_{op} 近傍では、直列共振回路 Z_2 の Q 値は自在に設定できる。この場合、装置全体としては共振系はポート共振系

— 33 —

では、スピーカユニットの Q 値に比べて一般的に制御しやすく、必要に応じて低下させることができる。例えば、ヘルムホルツ共振器 10 を小形化する場合、開口ポート 11 の共振系の共振周波数 f_{op} を低くすることは、前述の (1) 式

$$f_{op} = c (S / l V)^{1/2} / 2 \pi$$

において、開口ポートの断面積 S を小さくし、あるいはネックの長さ l を大きくすることにより実現される。このことは、この発明の音響装置では、小形化してかつ重低音再生しようと設定すること自体が、Q 値を適度に下げる要素となることを意味するのである。すなわち、開口ポート 11 を細長くすることは、空気摩擦による機械抵抗（音響抵抗）を大きくすることであり、従って、第 1 図 (b) の等価回路において A^2 / r_g を小さくすることになるので、ヘルムホルツ共振器 10 および開口ポート 11 側の直列共振回路 Z_2 の Q 値は低下し、結果として適度にダンピング特性が向上する。この点は、従来のパスレフ形スピーカシステムにおいて意図的に開口ポートの共振周波数を

— 32 —

のりとなり、従来の密閉形と同じく単峰特性になる。そして重要なことは、ユニット振動系の設計とポート共振系の設計は独立に行なえることである。これにより、開口ポートは振動器によって駆動されながら、これとは独立に作用する仮想スピーカとなる。

この仮想スピーカは、開口ポート径に相当する小口径で実現されるにもかかわらず、その低音再生能力から見ると現実のスピーカとしては極めて大口径のものに該当し、寸法効率あるいは音圧集中化には極めて大きい効果を奏する。当然、実際のスピーカを使わなくて済むから、その意味でのコスト効率も極めて大きい。また、この仮想スピーカには現実の振動板は存在せず、空気のみで構成される仮想振動板であり、極めて理想的なものといえる。

なお、以上の基本構成の説明では、理想的状態として

$$Z_2 = Z_v = Z_0 = 0$$

と仮定して説明したが、本質的には

— 34 —

$$0 \leq Z_g < Z_v$$

とすることによってこの発明の効果が充分に得られる。なぜなら、ポート共振系の共振のQ値は、 Z_g の値が減少するに従って増加するし、また、ユニット振動系とポート共振系の相関関係は、 Z_g の値が減少するに従って減少するからである。従って、例えば動電形直接放射スピーカにおいて、ボイスコイルの内部抵抗値が8Ωであるときには、-4Ωの等価負性抵抗を生成して見掛け上は抵抗値を4Ωとすることで、開口ポート11が形成する仮想スピーカからは十分に満足できる低音再生を実現できる。

また、負性インピーダンスを大きくし過ぎることにより、 $Z_g - Z_v - Z_0$ の値を負にするようなことは好ましくない。なぜなら、 Z_g が負になると回路は負荷を含め全体として負性抵抗性となり、発振を生じるからである。従って、内部インピーダンス Z_v の値が動作中の発熱などで変化するときには、これに応じて負性インピーダンスの値をあらかじめ余裕をもって設定しておくか、温

- 35 -

らに、開口ポートの断面積をネックの長さとの関係において適宜設定できるので、ポートの開口を小さくすることにより低域用の仮想スピーカを小口径にでき、音源を集中させて定位感を高めるようにしてもよい。

振動器（電気音響変換器）については、第5図ないし第12図に示すように、大別すると動電形、電磁形、圧電形および静電形など各種の形のものを用いることができる。

動電形スピーカ（ダイナミックスピーカ）の振動板の形態は、第5図ないし第7図に示すように、コーン形、ドーム形、リボン形、全面駆動形およびハイルドライバ形がある。コーン形ダイナミックスピーカは第5図に示すように、振動板として円錐形状のコーン101を有し、このコーン101の円錐頂部近傍にはボイスコイル102が固定される。そして、このボイスコイル102は磁気回路103に形成された磁気ギャップ中に挿入されている。なお、このコーン形ダイナミックスピーカでは、非モーショナルインピーダンス成

- 37 -

度変化に応じて負性インピーダンスの値を変える（温度補償する）必要がある。

次に、これまで第1図ないし第4図で説明した基本構成において、適用可能な各種の態様を説明する。

まず、共振器については、第1図(a)のものに限られない。例えば、空洞部の形状は球形に限らず直方体、立方体等としてもよく、また、その容積についても特に限定されることなく、かつユニット振動系とは独立に設計できる。このため、小容積としてキャビネットを小形化することができる。また、共振放射部をなす開口ポートおよびネックについても、断面形状などは限定されず、例えば音道は第1図(a)のように外部に突出する形態でも良いし、また空洞内に収容する形態としてもよい。さらに、特にネック12を設けず、単なる開口の存在のみであってもよい。さらに開口は複数個に分散されていてもよい。さらに、共振周波数 f_{op} は開口ポートの断面積とネック長さとの相関関係の下で、適宜に設定してもよい。さ

- 36 -

分は主に抵抗として現れる。第6図に示すドーム形ダイナミックスピーカでは、振動板がドーム104となっている点を除けば、第5図のコーン形ダイナミックスピーカと基本的には同一である。

リボン形ダイナミックスピーカは、第7図のように、磁気回路103の磁気ギャップ中にリボン振動板105を配設して構成される。この形のものである。駆動電流をリボン105の長手方向に流すことにより、前後（図面において上下）に振動して音波を発生させる。従って、リボン105がボイスコイルと振動板を兼ねている。なお、これについても非モーショナルインピーダンス成分は主に抵抗として現れる。

全面駆動形ダイナミックスピーカは、第8図のように、音波を放射するための開孔103aを有する磁石板103、103を平行に配設し、この間にボイスコイル102付きの振動膜106を配設して構成される。ここで、磁石板103は磁力線が振動膜106とほぼ平行になるように着磁され、またボイスコイル102は振動膜106上に

- 38 -

渦巻き状に固定されている。

第9図に示すハイルドライバ形ダイナミックスピーカについても、ボイスコイル102は振動膜106上に配設されている。すなわち、振動膜106は蛇腹状に構成され、ここにボイスコイル102がジグザグに固着されている。これによれば、ボイスコイル102に駆動電流を流すことにより振動膜106の蛇腹は交互に伸縮し、音波が放射される。そして、このスピーカにおいても非モーショナルインピーダンス成分は主に抵抗として現れる。

電磁形スピーカとしては、第10図のようなものがある。図示のように、振動自在に配設された振動板106は磁性体を含んで構成され、この近傍にはコイル107を巻回した鉄心108が設けられる。ここにおいて、コイル107に駆動電流を流せば、鉄心108からの磁力線により振動板106は振動させられ、図中の上下方向に音波が放射される。なお、この形のスピーカにおいても、非モーショナルインピーダンス成分は主に抵抗と

して現れる。

圧電形スピーカとしては、第11図に示すようなものがある。図示のように、支持体110には電歪効果により振動するパイモルフ111の両端が固定され、この中心部には振動棒112が立設して固定される。そして、この振動棒112の先端は支持体110に固着された振動膜113の、ほぼ中心部に当接している。このスピーカでは、電歪効果によってパイモルフ111が屈曲し、これによって中心部が上下に振動すると、これが振動棒112を伝わって振動膜113に伝えられる。従って、駆動電流に応じて振動膜113を振動させ、音波を放射することができる。なお、このスピーカでは非モーショナルインピーダンス成分は、主として静電容量などとして現れる。

静電形スピーカとしては、第12図に示すようなものがあり、一般には、同図(a)のものがシングルタイプコンデンサ形と呼ばれ、同図(b)のものがプッシュプルタイプコンデンサ形と呼ばれる。同図(a)において、振動膜121はメッ

— 39 —

シュ状の電極122と近接して並設され、これにバイアスEを重ねた入力信号が与えられる。従って、静電効果により振動膜121を振動させ、音波を放射できる。このとき、振動膜121の振動により変位電流のリアクションがあるので、これを利用して負性インピーダンス(容量)を等価的に生成できる。同図(b)については、振動膜121が2枚のメッシュ状の電極122に挟まれている。動作原理については同図(a)と同様であり、また非モーショナルインピーダンス成分についても主に静電容量として現れる。

負性インピーダンス発生手段については、第13図ないし第21図に示すように各種のものがある。

第13図は、その基本構成を示している。図示のように、利得Aの増幅回路131の出力をスピーカ132による負荷 Z_L に与える。そして、この負荷 Z_L に流れる電流 i を検出し、伝達利得 β の帰還回路133を介して増幅回路131に正帰還する。このようにすれば、回路の出力インピー

— 40 —

ダンス Z_0 は

$$Z_0 = Z_S (1 - A\beta) \quad \dots (10)$$

として求められる。この(10)式で $A\beta > 1$ とすれば、 Z_0 は開放安定形の負性インピーダンスとなる。ここで、 Z_S は電流を検出するセンサのインピーダンスである。

第14図は、電流 i の検出をスピーカ132の接地側に設けた抵抗 R_S により行なう例である。これによれば、出力インピーダンス Z_0 は前述の(10)式より

$$Z_0 = R_S (1 - A\beta)$$

となるので、 $A\beta > 1$ とすれば、見掛け上の負性抵抗成分を出力インピーダンス中に含ませることができる。なお、このような回路に相当する具体例は、例えば特公昭59-51771号などに示されている。

第15図は、電流 i の検出をスピーカ132の非接地側に設けた抵抗 R_S により行なう例である。この例によっても、出力インピーダンス Z_0 に負性抵抗成分を含ませることができる。なお、この

— 41 —

— 42 —

ような回路の具体例は、例えば特公昭54-33704号などに示されている。第16図はBTL接続にしたもので、図中の134は反転回路である。この回路においても、出力インピーダンス Z_0 は

$$Z_0 = R_0 (1 - A\beta)$$

となる。

第17図は、電流プローブによって電流 I を検出する例である。すなわち、電流 I は線路に周囲磁場を形成するので、これを電流プローブ135で検出し、帰還回路133を介して増幅回路131に帰還するものである。

第18図は、帰還回路133に積分器を用いた例である。すなわち、インダクタンス L の両端電圧を積分して検出することにより、抵抗検出と同等のことは行なうことができる。この回路によれば、DC近傍では抵抗 R_0 を用いたときよりも低損失にできる。

第19図は、帰還回路133に微分器を用いた例である。すなわち、キャパシタンス C の両端電

- 43 -

となる。

非モーシヨナルインピーダンス成分としてインダクタンスを含む電気音響変換器を用いるときには、等価負性インダクタンスを出力インピーダンス Z_0 に含ませることが必要になる。また、動電形スピーカなどでは非モーシヨナルインピーダンス成分として、抵抗のほかにインダクタンスもある程度は含んでいるので、このインダクタンス成分も無効化したいときには、負性インダクタンスの生成が必要になる。第21図はその一例の回路図である。図示のように、スピーカ132の接地側のインダクタンス L の両端は、帰還回路133に接続されている。この例によれば、出力インピーダンス Z_0 は

$$Z_0 = L (1 - A\beta)$$

となる。

次に、この発明の実施例について、順次に説明する。

第22図は、直方体のキャビネットに適用した実施例の構成図である。図示のように、直方体形

状を積分して検出することにより、抵抗検出と同等のことができる。但し、この回路ではスピーカ132の駆動系にキャパシタンス C が介在されるため、直流成分の駆動信号がカットされる問題がある。

以上、説明した例は、出力インピーダンス Z_0 に負性抵抗を等価的に含ませるものであり、動電形あるいは電磁形の電気音響変換器を用いたときに適用される。これに対して、圧電形あるいは静電形の変換器（スピーカ）を用いたときには、非モーシヨナルインピーダンス成分はキャパシタンスである。従って、出力インピーダンス Z_0 には負性容量を等価的に含ませることが必要になる。第20図はその一例の回路図で、スピーカ132は静電形あるいは圧電形のスピーカである。このスピーカ132の接地側のキャパシタンス C の両端は、帰還回路133に接続されている。この例によれば、出力インピーダンス Z_0 は前述の

(10)式より

$$Z_0 = C (1 - A\beta)$$

- 44 -

状のキャビネット41の前面には穴がけられ、ここに動電形直接放射スピーカ42が取り付けられている。スピーカ42はコーン状の振動板43と、その内縁頂部近傍に設けられた動電形変換器44により構成される。また、キャビネット41のスピーカ42の下側には開口ポート45およびダクト46が形成され、これがこの発明に特有の低音用の仮想スピーカをなしている。駆動回路46は負性抵抗駆動用のサーボ回路47を有し、この出力で動電形変換器44が駆動される。

ここで、動電形変換器44は固有の内部インピーダンスとしてボイスコイル直流抵抗 R_v を有し、これに対し駆動回路46は出力インピーダンス中に等価負性抵抗成分 $(-R_v)$ を有し、従って、これにより抵抗 R_v が実質的に無効化できようになっている。また、 R_H 、 L_H 、 C_H はそれぞれスピーカ42を電気的に等価表現したときのモーシヨナルインピーダンスである。一方、キャビネット41の容積を V とし、開口ポート45の断面積を S 、そのダクト46のネック長さを l とす

- 45 -

- 46 -

ると、その共振周波数 f_{op} は前述の (1) 式のよ
うに、

$$f_{op} = c (S / \rho V)^{1/2} / 2\pi$$

で求められる。

第 22 図に示す実施例の等価的動作構成は、第
23 図のようになる。すなわち、スピーカ 42 に
よって形成される中高音用スピーカ 42' と、開
口ポート 45 によって等価的に形成される仮想の
低音用スピーカ 45' は、容積が無限大の密閉形
キャビネット 41' に取り付けられたのと等価と
なる。そして、中高音用スピーカ 42' は等価的
に形成された高域通過フィルタ (HPF) 48H
を介して、通常の (アクティブサージ駆動をしない)
アンプ 49 に接続され、低音用スピーカ
45' は等価形成された低域通過フィルタ (LPF)
48L を介して、上記と同一のアンプ 49 に
接続される。(なお、各フィルタ 48H、48L
は、通常のネットワーク回路との類似性を強調す
るために便宜的に 2 次 HPF および 2 次 LPF で
表現している。) ここで、中高音用スピーカ

42' の最低共振周波数 f_0 は、等価モーシオナ
ルインピーダンス R_N 、 L_N および C_N により定
まり、そのときの共振の Q 値は先に示したように
略ゼロである。そして、その特性は低音用の仮想
スピーカ 45' 側の設計仕様には全く影響されな
い。また、低音用スピーカ 45' の共振周波数
 f_{op} は開口ポート 45 とダクト 46 のみによって
定まり、そのときの共振の Q 値は自在に制御する
ことができる。

以上の説明から明らかなように、この第 22 図
および第 23 図に示す実施例によれば、低音用の
仮想スピーカが開口ポート 45 およびダクト 46
により等価形成される。そして、これらは容積が
無限大の密閉形キャビネットに取り付けたのと等
価になるので、極めて優れた低音域再生特性が実
現される。そして、スピーカユニットの仕様とキ
ャビネットの仕様は、互いに制約されることなく
自由に設計でき、システムを従来のあらゆるスピー
カシステムに比べて著しく小形化できる。

更に、この発明によれば、例えば第 23 図に示

— 47 —

されるように、等価的に高域通過フィルタ 48H
および低域通過フィルタ 48L が形成されるので、
駆動回路の構成を簡単にすることができる。例え
ば、従来の 2 ウエイ構成のスピーカシステムでは、
高音および低音用のスピーカの前段にはネットワ
ークとしての高域および低域通過フィルタを、そ
れぞれ配設しなければならなかった。そして、こ
のフィルタはキャパシタンスやインダクタンスを
用いなければならないので、駆動回路のコストが
高くなりがちであり、駆動回路に占めるフィルタ
の容積も大きくなりがちであった。また、その設
計も別途に行なわなければならなかった。この発
明では、これらのフィルタは等価的に形成される
ので、かかる従来技術の問題点をも解決すること
ができる。

なお、振動器および共振器の全体としての音圧
周波数特性はアンプ側の入力信号のレベルを増減
設定することで任意とすることができる。振動器
および共振器の各音響放射能力は共に十分である
から、このように入力信号のレベルを調整するだ

— 48 —

けで、装置全体の音圧周波数を広帯域一様再生で
きるようにすることが極めて容易に実現できる。

次に、この発明の発明者が試作したいくつかの
具体例を説明する。

第 24 図は、1 個のスピーカユニットと 1 個の
ポート共振系 (キャビネット) を用いて、等価的
に 2 ウエイのスピーカシステムを構成したときの
駆動回路の回路図である。同図において、負の出
力インピーダンス Z_0 は

$$\begin{aligned} Z_0 &= R_g (1 - R_b / R_g) \\ &= 0.22 (1 - 30 / 1.6) \\ &= -3.9 (\Omega) \end{aligned}$$

となる。すなわち、第 24 図の回路では等価的な
出力インピーダンスが第 25 図に示すようになって
いる。

第 26 図は、低歪率の負性抵抗パワーアンプの
回路例である。同図中、点線で囲んだ A 部分が、
第 14 図及び第 24 図等に示す検出抵抗 R_g であ
り、図中の点線で囲んだ B 部分が、この検出電流
値に相当する電圧を再び電流化して、入力側に帰

通させる部分であり、第14図中の回路133等に相当する。電圧電流変換をする理由は、検出部と入力増速部との接地電位差の影響を受けないようにするためである。この回路では、出力インピーダンス Z_0 は

$$Z_0 = R_s (1 - R_f / R_y)$$

となる。従って、 $R_f = 30 \text{ k}\Omega$ であるので、 $R_y < 30 \text{ k}\Omega$ のときに、出力インピーダンス Z_0 中に等価的な負性抵抗分を含ませることができる。

第27図は、2個のスピーカユニットと1個のポート共振系を用いて、3ウェイ構成のスピーカシステムとしたときの基本構成図である。この構成によれば、ヘルムホルツ共振器の容量を3.5リットルとしたときに、第28図に太い実線で示すような、優れた音圧の周波数特性が得られた。ここで、図中の1点鎖線は中音用のスピーカの出力特性、2点鎖線は高音用のツィータの出力特性を示している。

更に本発明者は、この発明効果と、基本設定に

- 51 -

て見掛け上で小さくされる（望ましくは無効化される）。

このため、振動器は電気的な駆動信号入力にのみ応答する要素となり、一切過渡応答を生ずることのない理想的な動作を行なうとともに、この振動器の共振系は実質的に共振系ではなくなり、単に共振器の壁面と等価となってしまう。従って、共振器は振動器によって駆動されながらも、駆動制御手段から見た場合、振動器とは全く独立して駆動エネルギーが供給される要素となり、振動器インピーダンスの影響がないので、この共振器の共振のQ値は極めて大きくなってその音響放射能力は強力なものとなり、仮に他の要因で共振器の共振のQ値が減少するなどしても十分に余裕を有するものとなる。

また、振動器の低域再生特性は何ら共振器の容積の大小によって左右されず、また、共振器の共振周波数は共振放射部の等価質量だけで設定できるので、やはり共振器の容積の大小は共振器自体の低域再生特性を支配する要素ではなくなり、結

- 53 -

従ったバスレフ形スピーカシステムの効果との比較に関し、次のような結果を得た。

まず、この発明に従った音響装置としては、ヘルムホルツ共振器の空腔の容量を6リットルとし、開口ポートの内径を3.3cmとし、そのネック長を25cmとした。そして、ダイナミックコンスピーカを取り付けて負性抵抗駆動を行なったところ、 $f_{op} = 41$ ヘルツまでの重低音再生ができた。これに対し、基本設定に従ったバスレフ形スピーカシステムでは、ダイナミックコンスピーカとして $f_0 = 50$ ヘルツ、 $Q = 0.5$ 、口径20cmのものをを用いたときには、キャビネットの容量を176リットルとしたときに、 $f_{op} = 41$ ヘルツまでの再生が可能となった。従って、同一程度の重低音再生において、キャビネットの容量を1/30倍程度にできることが判明した。

〔発明の効果〕

以上、詳細に説明した通り、この発明によれば、振動器が有する固有の内部インピーダンスは、振動器駆動手段における駆動制御手段の働きによっ

- 52 -

果として、装置容積に全く無関係に装置の低域再生特性を設定できるものとなり、もって小形でかつ重低音再生が可能な音響装置も容易に実現できることとなる。

更に、機械的あるいは電気的等価回路において示されるように、振動器による共振系と共振器による共振系を、より独立して（望ましくは完全に独立して）取り扱うことが可能になるので、両者の設計上の相互依存条件を少なくする（望ましくは相互依存条件をなくす）ことにより任意の帯域設計が容易にでき、かつ何らの支障も生じない。

また、この発明の音響装置はオーディオ用スピーカシステム以外にも、電子楽器、電気楽器等の発音体あるいは他の発音体として幅広く応用できる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、この発明の一実施例の基本構成を説明する図、

第2図は、音圧の周波数特性図、

- 54 -

第3図は、第1図(a)の電氣的等価回路図、
第4図は、第3図の Z_3 をゼロとしたときの等価回路図、

第5図ないし第9図は、動電形スピーカのいくつかの例を説明する図、

第10図は、電磁形スピーカの例を説明する側面図、

第11図は、圧電形スピーカの例を説明する断面図、

第12図は、静電形スピーカの例を説明する回路図、

第13図は、等価的に負性インピーダンスを生成する回路の基本構成図、

第14図ないし第19図は、等価負性抵抗を生成する回路の回路図、

第20図は、等価負性キャパシタンスを生成する回路の回路図、

第21図は、等価負性インダクタンスを生成する回路の回路図、

第22図は、より具体的な実施例に係る音響装

置の構成図、

第23図は、第22図の装置の等価的動作構成の説明図、

第24図は、1個の振動器を用いて2ウェイ構成のスピーカシステムを実現したときの回路図、

第25図は、第24図において等価的に形成される出力インピーダンスを説明する図、

第26図は、低歪率の負性抵抗パワーアンプの回路図、

第27図は、2個の振動器により3ウェイ構成のスピーカシステムを実現したときの構成図、

第28図は、第27図のスピーカシステムによる音圧の周波数特性を示す図、

第29図は、従来のスピーカシステムに用いられるバフルの断面図、

第30図は、密閉形スピーカシステムの電氣的等価回路図、

第31図は、バスレフ形スピーカのシステムの要部の構成図、

第32図は、従来例による音圧の周波数特性を

— 55 —

比較して説明する図、

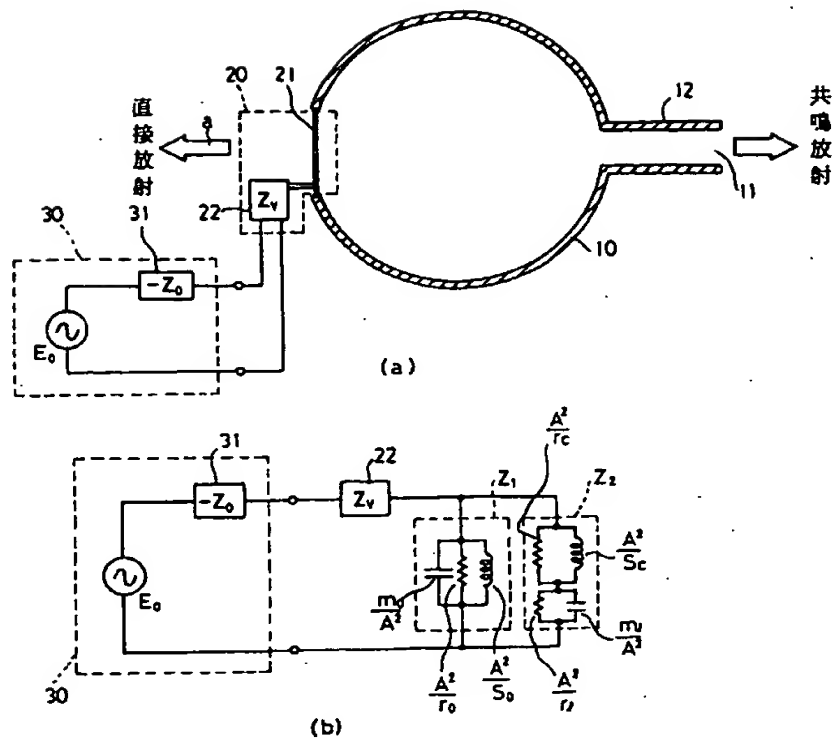
第33図は、バスレフ形スピーカシステムの電氣的等価回路図である。

10…ヘルムホルツ共鳴器、11…開口ポート、
12…ネック、20…振動器、21…振動板、
22…変換器、30…振動器駆動装置、31…駆動制御手段（負性インピーダンス発生部）、
2₀…出力インピーダンス、2_v…内部インピーダンス（非モーションアルインピーダンス成分）。

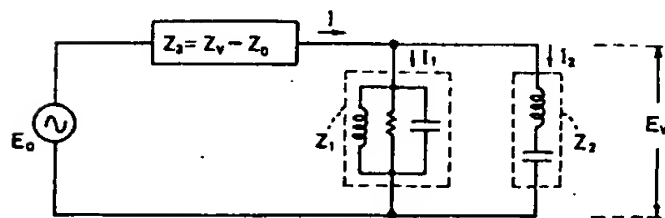
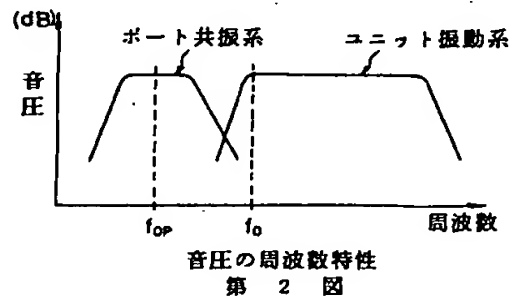
— 56 —

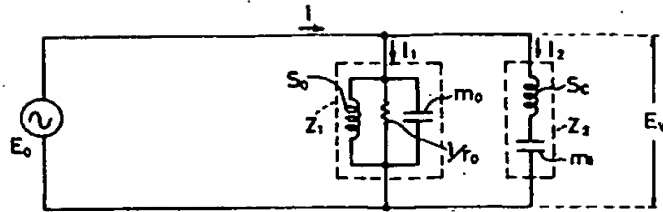
特許出願人 ヤマハ株式会社
代理人弁理士 長谷川 芳 樹

— 57 —

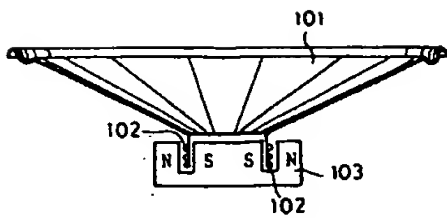


この発明の基本構成の説明図
第 1 図

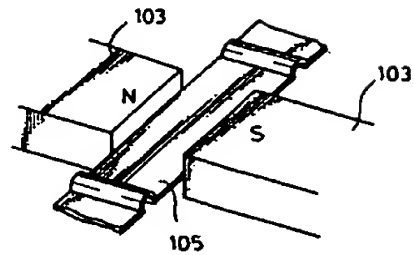




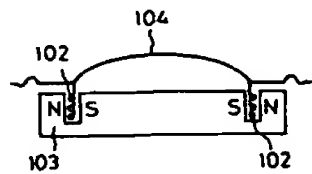
第 3 図の $Z_3 = 0$ とした等価回路
第 4 図



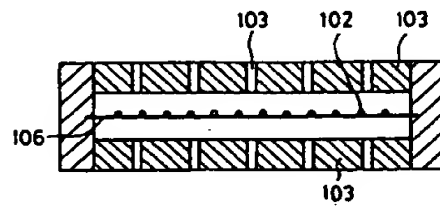
コーン形ダイナミックスピーカ
第 5 図



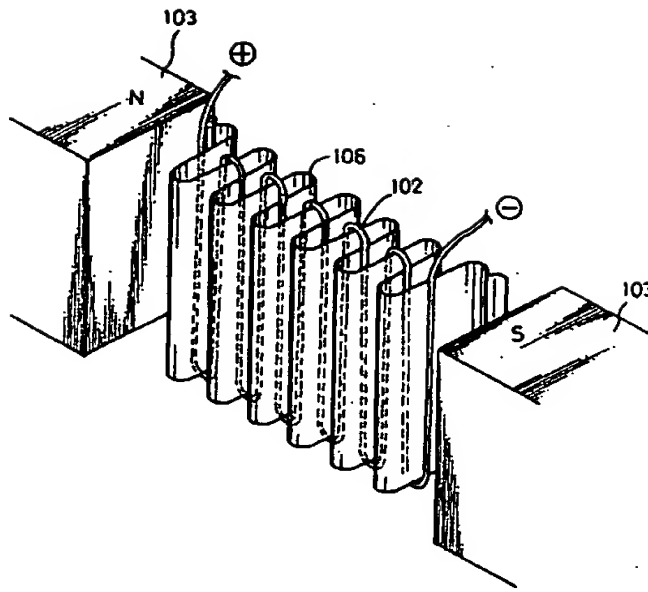
リボン形ダイナミックスピーカ
第 7 図



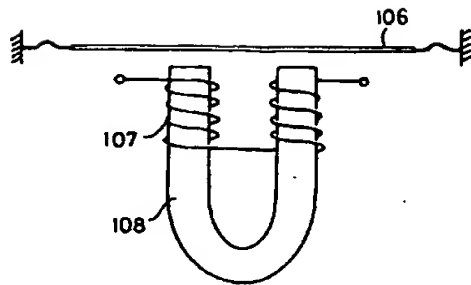
ドーム形ダイナミックスピーカ
第 6 図



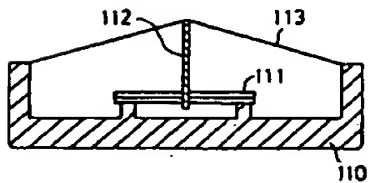
全面駆動形ダイナミックスピーカ
第 8 図



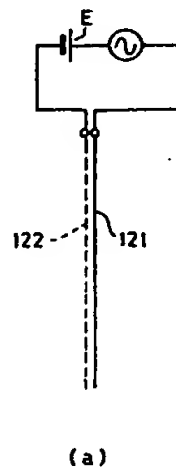
ハイルドライバ形ダイナミックスピーカ
第 9 図



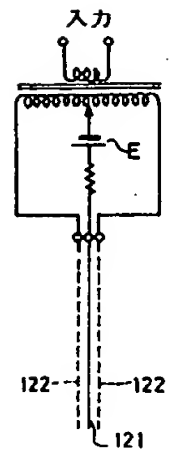
電磁形スピーカ
第 10 図



圧電形スピーカ
第 11 図

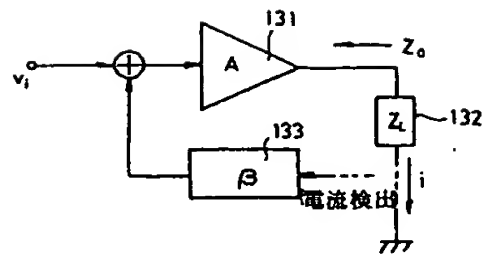


(a)

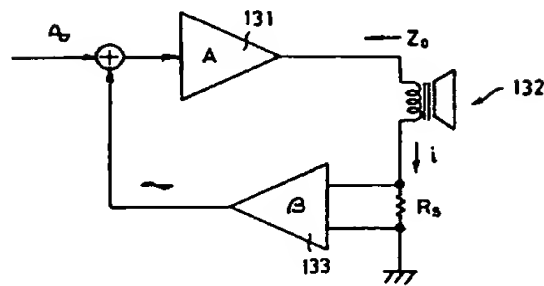


(b)

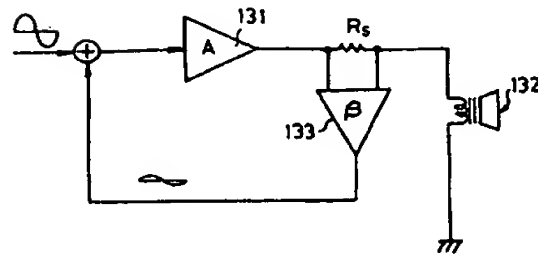
静電形スピーカ
第 12 図



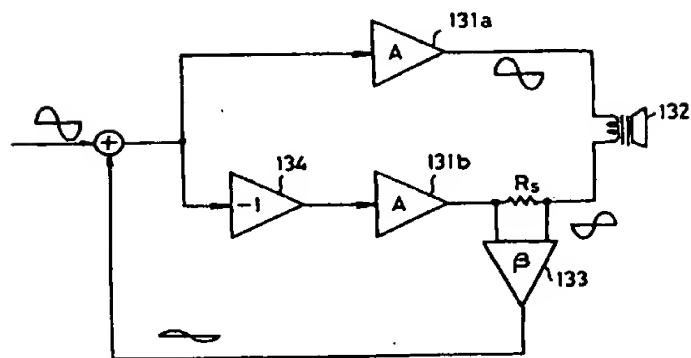
負性インピーダンス生成の基本構成
第 13 図



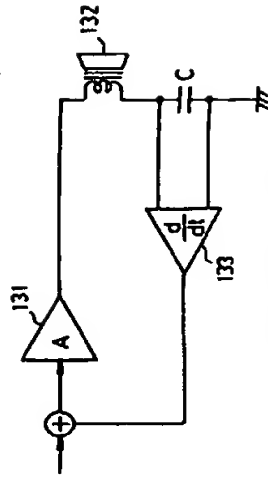
接地側で電流検出する例
第 14 図



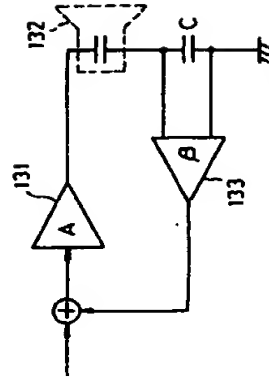
非接地側で電流検出する例
第 15 図



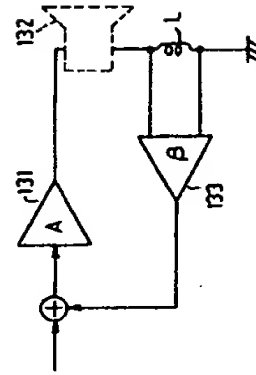
BTL 接続の例
第 16 図



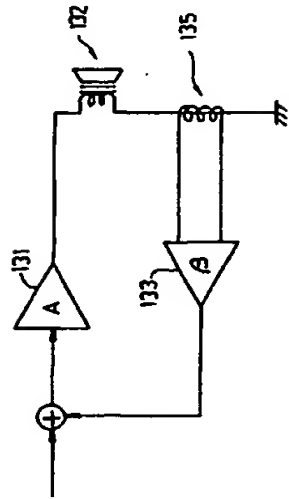
微分器を用いた例
第19図



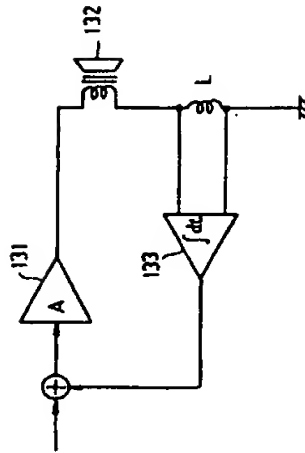
負性キャパシタンスの生成
第20図



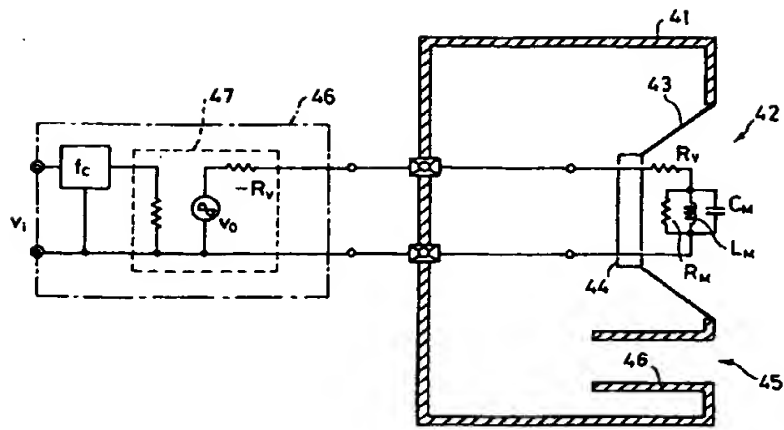
負性インダクタンスの生成
第21図



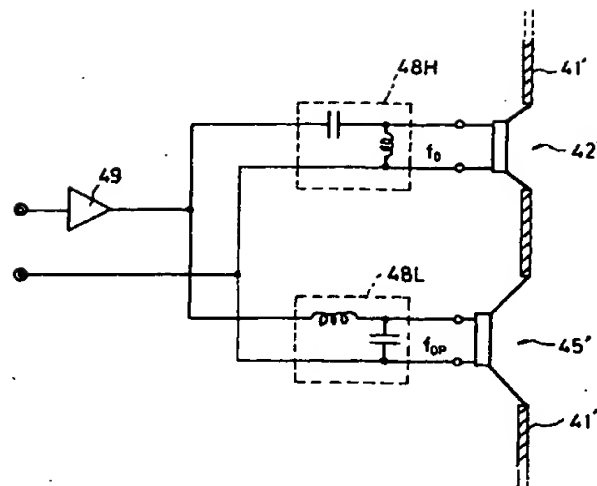
電流プローブにより電流検出する例
第17図



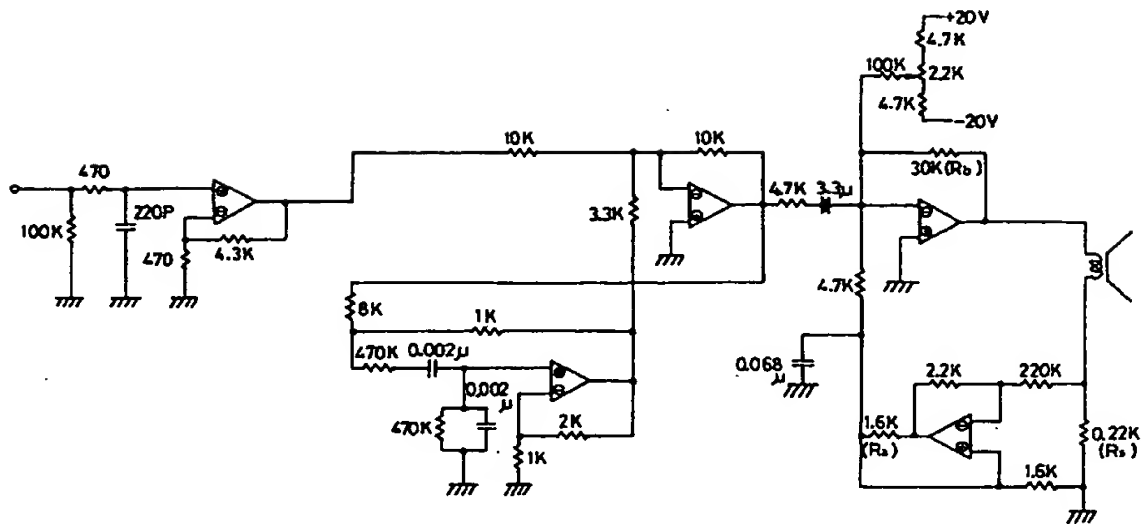
積分器を用いた例
第18図



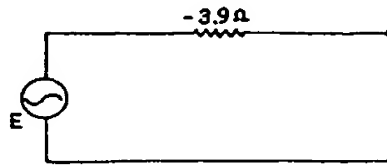
実施例の構成
第 2 2 図



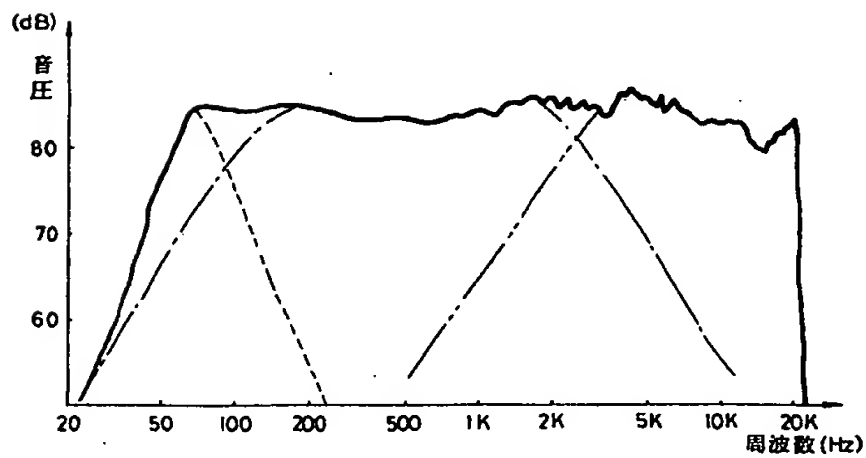
第 2 2 図の等価的動作構成
第 2 3 図



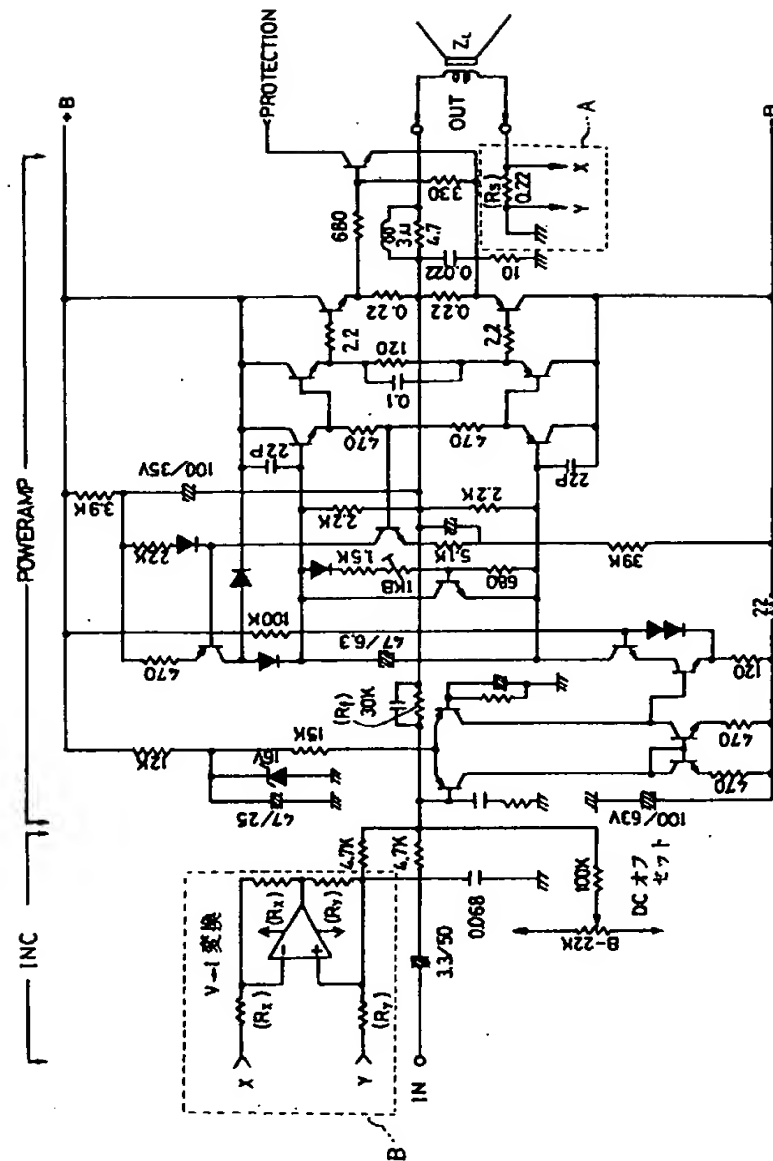
2 ウェイ構成としたときの具体例
第 2 4 図



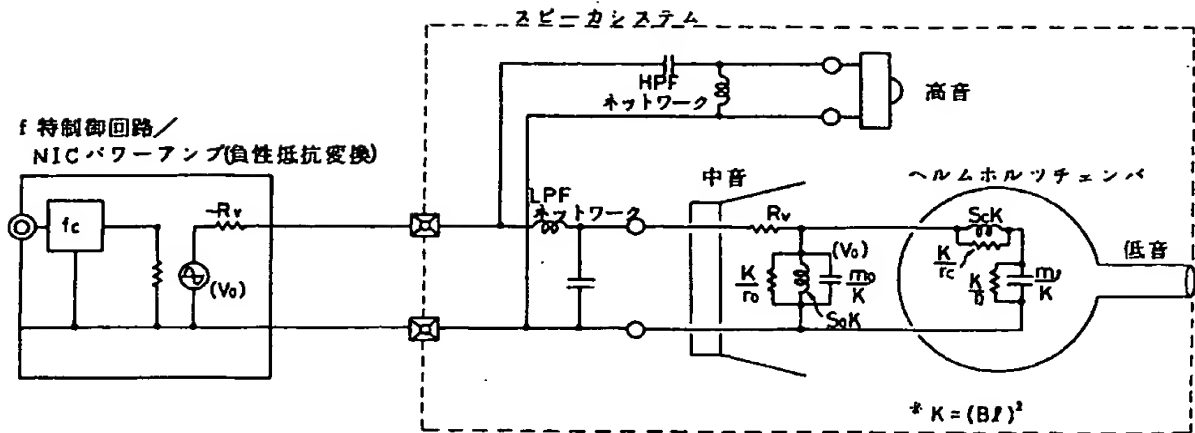
等価出力インピーダンス
第 2 5 図



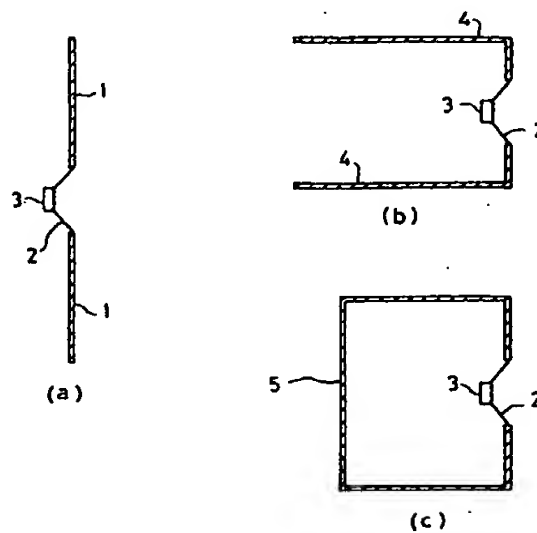
音圧の周波数依存性
第 2 8 図



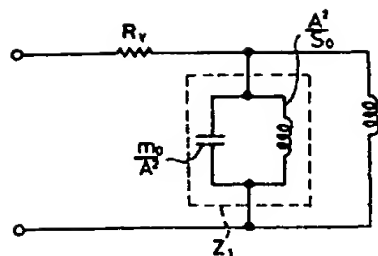
低歪率負性抵抗パワーアンプの例
第 26 図



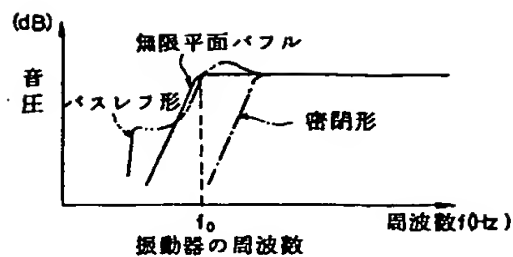
3ウエイ構成にしたときの例
第27図



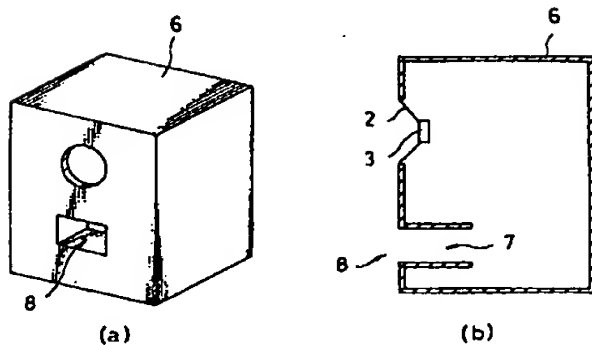
従来のスピーカシステム
第28図



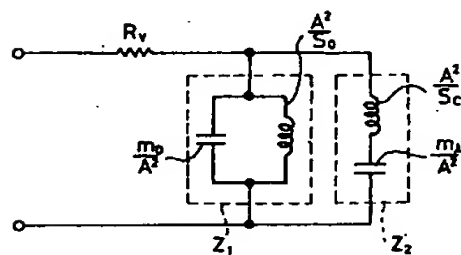
密閉形の電氣的等価回路
第 30 図



音圧の周波数依存性
第 32 図



バスレフ形スピーカシステム
第 31 図



バスレフの電氣的等価回路
第 33 図